

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-249369
(P2001-249369A)

(43)公開日 平成13年9月14日(2001.9.14)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターマート*(参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B 5 F 0 7 2
		3/30	Z 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J
10/16			E

審査請求 有 請求項の数27 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

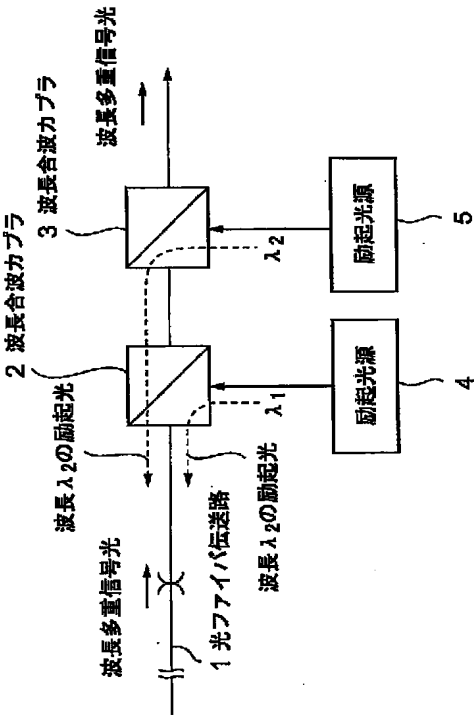
(21)出願番号	特願2000-57290(P2000-57290)	(71)出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22)出願日	平成12年3月2日(2000.3.2)	(72)発明者	横山 隆 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		(74)代理人	100082935 弁理士 京本 直樹 (外2名)
		Fターム(参考)	2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10 EA08 EA30 GA10 HA23 5F072 AB07 AK06 JJ05 JJ20 PP07 YY17 5K002 AA06 CA10 CA13 DA02 DA04 FA01

(54)【発明の名称】 光増幅器とこれを用いた光増幅中継器及び波長多重光伝送装置

(57)【要約】

【課題】 ラマン増幅作用を利用した光増幅において波長多重信号光を光増幅させたときにも、利得（光出力レベル）の平坦度が維持されるようにする。

【解決手段】 第1及び第2の励起光を出力する第1及び第2の2つのラマン増幅用励起光源と、波長多重信号光が伝播する光ファイバ伝送路に信号光の伝播とは逆方向に第1及び第2の励起光を入射するラマン増幅用波長合波手段とを備え、両励起光によって信号光をラマン増幅させる。第1の励起光の波長は、ラマン増幅により光増幅される信号光の利得が右肩下がりになり、一方、第2の励起光の波長は右肩上がりになるように設定されている。第1及び第2の励起光によるラマン増幅における波長と利得の関係を示す傾斜が互いに逆向きとなるようにし、ラマン増幅された波長多重信号光に含まれる各信号光に対する利得が互いにほぼ等しくなるように第1及び第2の励起光の光出力と波長をそれぞれ設定する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の波長を有する第 1 の励起光を出力する第 1 のラマン増幅用励起光源と、
第 2 の波長を有する第 2 の励起光を出力する第 2 のラマン増幅用励起光源と、
信号光が伝播する光ファイバ伝送路に、前記第 1 の励起光及び前記第 2 の励起光とを入射するラマン増幅用波長合波手段とを備え、
前記第 1 の励起光及び前記第 2 の励起光によって前記信号光を前記光ファイバ伝送路においてラマン増幅させることを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 前記ラマン増幅用波長合波手段は、前記第 1 の励起光及び前記第 2 の励起光を前記信号光の伝播方向とは逆方向に入射することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 3】 前記ラマン増幅用波長合波手段は、前記第 1 の励起光及び前記第 2 の励起光を前記信号光の伝播方向とは逆方向に入射することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 4】 前記信号光は、互いに異なる波長の複数の信号光が波長多重された波長多重信号光であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項 5】 前記第 1 の波長は、前記波長多重信号光に含まれる信号光の波長より前記ラマン増幅による利得がピークとなる波長が短くなるように前記信号光をラマン増幅させる波長であり、
前記第 2 の波長は、前記波長多重信号光に含まれる信号光の波長より前記ラマン増幅による利得がピークとなる波長が長くなるように前記信号光をラマン増幅させる波長であることを特徴とする請求項 4 記載の光増幅器。

【請求項 6】 請求項 5 記載の光増幅器であって、
前記第 1 の励起光によるラマン増幅における波長と利得の関係を示す傾斜と、
前記第 2 の励起光によるラマン増幅における波長と利得の関係を示す傾斜とが互いに逆向きであり、
前記第 1 の励起光と前記第 2 の励起光によってラマン増幅された前記波長多重信号光に含まれる各信号光に対する利得が互いにほぼ等しくなるように前記第 1 の励起光及び前記第 2 の励起光の光出力と波長がそれぞれ設定されていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 7】 前記第 1 のラマン増幅用励起光源は、
第 1 の光を発振する第 1 の半導体レーザと、
前記第 1 の半導体レーザの前段に配置され、前記第 1 の波長の光に対して所定の割合で選択的に透過させ残余の光を反射させる第 1 の波長選択型光反射器とを備え、
前記第 2 のラマン増幅用励起光源は、
第 2 の光を発振する第 2 の半導体レーザと、
前記第 2 の半導体レーザの前段に配置され、前記第 2 の波長の光に対して所定の割合で選択的に透過させ残余の

2

光を反射させる第 2 の波長選択型光反射器とを備えていることを特徴とする請求項 4 から請求項 6 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項 8】 前記第 1 のラマン増幅用励起光源は、
第 1 の光を発振する第 1 の半導体レーザと、
前記第 1 の半導体レーザの前段に配置され、前記第 1 の波長の光を選択的に透過させる第 1 の光フィルタとを備え、
前記第 2 のラマン増幅用励起光源は、

10 第 2 の光を発振する第 2 の半導体レーザと、
前記第 2 の半導体レーザの前段に配置され、前記第 2 の波長の光を選択的に透過させる第 2 の光フィルタとを備えていることを特徴とする請求項 4 から請求項 6 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項 9】 前記ラマン増幅用波長合波手段は、
前記光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され、前記信号光を通過させるとともに、前記第 1 の励起光を前記光ファイバに入射する第 1 のラマン増幅用励起光合波カプラと、

20 前記光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され、前記信号光を通過させるとともに、前記第 2 の励起光を前記光ファイバに入射する第 2 のラマン増幅用励起光合波カプラとを含んでいることを特徴とする請求項 4 から 8 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項 10】 前記ラマン増幅用波長合波手段は、
前記第 1 の励起光と前記第 2 の励起光とを合波して合波励起光を出力するラマン増幅用励起光合波器と、
前記光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され、前記信号光を通過させるとともに、前記合波励起光を前記光ファイバに入射するラマン増幅用励起光合波カプラとを含んでいることを特徴とする請求項 4 から請求項 8 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項 11】 前記ラマン増幅用波長合波手段は、
前記第 1 のラマン増幅用励起光源から出力される前記第 1 の励起光と前記第 2 のラマン増幅用励起光源から出力される前記第 2 の励起光とは互いに直交する偏光状態にあり、該第 1 の励起光と該第 2 の励起光とを偏波合成して合波励起光を出力するラマン増幅用励起光偏波合成カプラと、

40 前記光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され、前記信号光を通過させるとともに、前記合波励起光を前記光ファイバに入射するラマン増幅用励起光合波カプラとを含んでいることを特徴とする請求項 4 から請求項 8 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器。

【請求項 12】 請求項 4 から請求項 11 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器であって、さらに、
50 前記波長多重信号光の一部を分岐して分岐波長多重信号

3

光を出力する光分岐器と、
前記分岐波長多重信号光に含まれる各信号光から互いに異なる波長の 2 の信号光を抽出する信号光抽出手段と、
前記信号光抽出手段により抽出された 2 の信号光の光出力レベルをそれぞれ検出する受光器と、
前記 2 の光出力レベルの差分に基づいて前記第 1 のラマン増幅用励起光と前記第 2 のラマン増幅用励起光の光出力レベルまたは波長を制御する励起光出力制御回路とを備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 13】 請求項 4 から請求項 11 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器であって、さらに、
前記信号光を光増幅する増幅媒体と、
前記増幅媒体を励起状態にする第 3 の励起光を出力する第 3 の励起光源と、
前記第 3 の励起光を前記増幅媒体に入射する波長合波カプラとを備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 14】 前記波長合波カプラは、前記増幅媒体に対して前記信号光が入力される側に配置され、
前記第 3 の励起光は、前記信号光の伝播方向と同一の方向に入射されることを特徴とする請求項 13 記載の光増幅器。

【請求項 15】 前記波長合波カプラは、前記増幅媒体に対して前記信号光が出力される側に配置され前記励起光は、前記信号光の伝播方向と逆の方向に入射されることを特徴とする請求項 13 記載の光増幅器。

【請求項 16】 請求項 4 から請求項 15 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器であって、さらに、
前記ラマン増幅用波長合波手段の前記信号光が出力される側に配置され、前記信号光と同一方向に伝播する光のみを選択的に透過させ、逆方向に伝播する光を阻止する光アイソレータを備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 17】 請求項 13 から請求項 16 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器であって、さらに、
前記波長多重信号光の一部を分岐して分岐波長多重信号光を出力する光分岐器と、
前記分岐波長多重信号光に含まれる各信号光から互いに異なる波長の 2 の信号光を抽出する信号光抽出手段と、
前記信号光抽出手段により抽出された 2 の信号光の光出力レベルをそれぞれ検出する受光器と、
前記 2 の光出力レベルの差分に基づいて前記第 1 のラマン増幅用励起光と前記第 2 のラマン増幅用励起光の光出力レベルまたは波長を制御する励起光出力制御回路とを備えていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 18】 前記光分岐器は、前記ラマン増幅用波長合波カプラに対して、前記波長多重信号光が入力される側に配置されていることを特徴とする請求項 17 記載の光増幅器。

【請求項 19】 前記光分岐器は、前記ラマン増幅用波長合波カプラに対して、前記波長多重信号光が出力され

4

る側に配置されていることを特徴とする請求項 17 記載の光増幅器。

【請求項 20】 下り信号光用光ファイバ伝送路中に配置された下り信号用光増幅器と、
上り信号光用光ファイバ伝送路に配置された上り信号用光増幅器とを備えた光増幅中継器であって、
前記下り信号用光増幅器は、請求項 4 から請求項 12 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器を含み、
前記上り信号用光増幅器は、請求項 4 から請求項 12 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器を含んでいることを特徴とする光増幅中継器。

【請求項 21】 請求項 20 記載の光増幅中継器であって、
前記下り信号光用光増幅器が備える前記第 1 のラマン増幅用励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第 1 のラマン増幅用励起光源は共通の第 1 のラマン増幅用励起光源であり、
前記下り信号光用光増幅器が備える前記第 2 のラマン増幅用励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第 2 のラマン増幅用励起光源は共通の第 2 のラマン増幅用励起光源であり、
前記共通の第 1 のラマン増幅用励起光源から出力される第 1 のラマン増幅用励起光と前記共通の第 2 のラマン増幅用励起光源から出力される第 2 のラマン増幅用励起光とを結合させるとともに分岐させて、前記下り信号光用光増幅器が備える前記ラマン増幅用波長合波カプラ及び前記上り信号光用光増幅器が備える前記ラマン増幅用波長合波カプラにそれぞれ出力するラマン増幅用光分岐結合器を備えていることを特徴とする光増幅中継器。

【請求項 22】 下り信号光用光ファイバ伝送路中に配置された下り信号用光増幅器と、
上り信号光用光ファイバ伝送路に配置された上り信号用光増幅器とを備えた光増幅中継器であって、
前記下り信号用光増幅器は、請求項 13 から請求項 21 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器を含み、
前記上り信号用光増幅器は、請求項 13 から請求項 21 までのいずれかの請求項に記載の光増幅器を含んでいることを特徴とする光増幅中継器。

【請求項 23】 請求項 22 記載の光増幅中継器であって、
前記下り信号光用光増幅器が備える前記第 1 のラマン増幅用励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第 1 のラマン増幅用励起光源は共通の第 1 のラマン増幅用励起光源であり、
前記下り信号光用光増幅器が備える前記第 2 のラマン増幅用励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第 2 のラマン増幅用励起光源は共通の第 2 のラマン増幅用励起光源であり、
前記共通の第 1 のラマン増幅用励起光源から出力される第 1 の励起光と前記共通の第 2 のラマン増幅用励起光源

10

20

30

40

50

から出力される第2の励起光とを結合させるとともに分岐させて、前記下り信号光用光増幅器が備える前記ラマン増幅用波長合波カプラ及び前記上り信号光用光増幅器が備える前記ラマン増幅用波長合波カプラにそれぞれ出力するラマン増幅用光分岐結合器を備えていることを特徴とする光増幅中継器。

【請求項24】 請求項23記載の光増幅中継器であって、

前記下り信号光用光増幅器が備える前記第3の励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第3の励起光源は共通の第3の励起光源であり、

前記共通の第3の励起光源から出力される第3の励起光と前記共通の第3の励起光源から出力される第3の励起光とを結合させるとともに分岐させて、前記下り信号光用光増幅器が備える前記波長合波カプラ及び前記上り信号光用光増幅器が備える前記波長合波カプラにそれぞれ出力する光分岐結合器を備えていることを特徴とする光増幅中継器。

【請求項25】 請求項23記載の光増幅中継器であって、

前記下り信号光用光増幅器及び前記上り信号光用光増幅器は、さらに、前記増幅媒体を励起状態にする第4の励起光を出力する第4の励起光源をそれぞれ備え、

前記下り信号光用光増幅器が備える前記第3の励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第3の励起光源は共通の第3の励起光源であり、

前記下り信号光用光増幅器が備える前記第4の励起光源と前記上り信号光用光増幅器が備える前記第4の励起光源は共通の第4の励起光源であり、

前記共通の第3の励起光源から出力される第3の励起光と前記共通の第4の励起光源から出力される第4の励起光とを結合させるとともに分岐させて、前記下り信号光用光増幅器が備える前記波長合波カプラおよび前記上り信号光用光増幅器が備える前記波長合波カプラにそれぞれ出力する光分岐結合器を備えていることを特徴とする光増幅中継器。

【請求項26】 互いに異なる波長の複数の信号光を波長多重して波長多重信号光を送出する光送信端局と、前記波長多重信号光を伝播させる光ファイバ伝送路と、前記波長多重信号光を受信する光受信端局と、前記光ファイバ伝送路の途中に配置され、前記波長多重信号光を中継増幅する請求項4から請求項12までのいずれかの請求項に記載の光増幅器とを備えていることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項27】 互いに異なる波長の複数の下り信号光を波長多重して下り波長多重信号光を送出する下り信号光用光送信端局と、

前記下り波長多重信号光を伝播させる下り信号光用光ファイバ伝送路と、

前記下り波長多重信号光を受信する下り信号光用光受信

端局と、

互いに異なる波長の複数の上り信号光を波長多重して上り波長多重信号光を送出する上り信号光用光送信端局と、

と、

前記上り波長多重信号光を伝播させる上り信号光用光ファイバ伝送路と、

前記上り波長多重信号光を受信する上り信号光用光受信端局と、

前記下り光ファイバ伝送路及び前記上り光ファイバ伝送路の途中に配置され、前記下り波長多重信号光及び上り波長多重信号光をそれぞれ中継増幅する請求項13から請求項25までのいずれかの請求項に記載の光増幅中継器とを備えていることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、信号光をラマン増幅作用に基づいて光増幅する光増幅器と、この光増幅器を用いて構成される光増幅中継器及び光伝送装置に関する。特に、互いに異なる複数の波長の信号光が波長多重された信号光（以下「波長多重信号光」という。）を一括して光増幅する光増幅器であって、各信号光に対する利得の平坦化機能を備えた光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ伝送路を伝播する信号光に対して、所定の波長を有する励起光を入射することによりラマン増幅作用を生じさせ、これにより信号光の光増幅を行うことができることが知られている（例えば、特開平10-022931号公報参照）。ラマン増幅による光増幅は、光ファイバ伝送路に当該光ファイバ伝送路を伝播する信号光の進行方向とは逆方向に所定の波長の励起光を入射させることにより行われる。

【0003】ところで、ラマン増幅作用を利用した光増幅は、単独で用いられることも考えられるが、通常は希土類元素添加ファイバを増幅媒体とした光増幅（以下これを「通常的光増幅」という。）と併用されて用いられることが多い。すなわち、光増幅器、とりわけ光ファイバ伝送路の途中や出力端において配置される光増幅中継器や光受信端局内に配置される前置光増幅器では、利得を向上させるために通常的光増幅に加えて、ラマン増幅を行うための励起光が内蔵されることが多い。

【0004】しかしながら、波長多重信号光に対してラマン増幅作用により光増幅を行うと、ラマン増幅自体に利得の波長依存性があるため、光増幅後の波長多重信号光に含まれる各信号光の光出力レベルに差異（偏差）が生じる。このような光出力レベル差は、光増幅器が多段階接続された光増幅中継伝送システムにおいて、その差が加算されるため伝送特性に大きな影響を与える。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】一般的に、上述したよ

10

20

30

40

50

7

うな光増幅器の出力波長特性は、入力される波長多重信号光が波長により光出力レベルに偏差を持たない状態で設計されている。しかしながら、光増幅器の入力側に接続された光ファイバ伝送路で生じるラマン増幅作用により光増幅された波長多重信号光がさらに通常の光増幅されるために光増幅器に入力される際に、波長多重信号光に含まれる各信号光の間でその光入力レベルに偏差があると、通常の光増幅によってさらに偏差が増大されることになって、結局所望の出力波長特性を得ることができなくなる。

【0006】また、ラマン増幅による利得は、信号光の波長によって異なり波長依存性を有し、この波長依存性自体が励起光源の波長に依存しているため、励起光源の製造時における波長のばらつきや、励起光強度や使用温度の違いによる波長変動等により信号光の波長特性を一定に制御することが困難であるという問題もある。

【0007】本発明の光増幅器、光増幅中継器置は、ラマン増幅作用を利用した光増幅において、波長多重信号光を光増幅させたときにも、利得に平坦が維持されるようにする、あるいは波長多重信号光に含まれる各信号光の光出力レベルが平坦化されるようにすることを目的としている。また、本発明の光伝送装置は、波長多重信号光を光伝送する場合にでも、各信号光の光出力レベルに大きな偏差が生じないようにして安定な光伝送ができるようにすることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために、本発明の光増幅器は、第1の波長を有する第1の励起光を出力する第1のラマン増幅用励起光源と、第2の波長を有する第2の励起光を出力する第2のラマン増幅用励起光源と、信号光が伝播する光ファイバ伝送路に第1及び第2の励起光を入射するラマン増幅用波長合波手段とを備え、第1及び第2の励起光によって信号光を光ファイバ伝送路においてラマン増幅させることを特徴としている。第1及び第2の励起光は、信号光の伝播方向とは逆方向であってもよいし順方向（同一方向）であってもよい。信号光は、単一の信号光に対しても適用できるが、特に互いに異なる波長の複数の信号光が波長多重された波長多重信号光であることを特徴としている。すなわち、本発明の光増幅器は、ラマン増幅をさせる励起光について、互いに異なる波長を有する2の励起光を光ファイバ伝送路に入射させることを特徴としている。

【0009】そして、波長多重信号光に対して、ラマン増幅による光増幅の際に生じる利得の波長依存性による影響を低減するために、第1の波長は、波長多重信号光に含まれる信号光の波長よりラマン増幅による利得がピークとなる波長が短くなるように信号光をラマン増幅させる波長であり、一方、第2の波長は、波長多重信号光に含まれる信号光の波長よりラマン増幅による利得がピークとなる波長が長くなるように信号光をラマン増幅さ

8

せる波長であることを特徴としている。

【0010】ここで、第1の励起光によるラマン増幅における波長と利得の関係を示す傾斜と、第2の励起光によるラマン増幅における波長と利得の関係を示す傾斜とが互いに逆向きであり、第1の励起光と第2の励起光によってラマン増幅された波長多重信号光に含まれる各信号光に対する利得が互いにほぼ等しくなるように第1の励起光及び第2の励起光の光出力と波長がそれぞれ設定されていることを特徴としている。

10 【0011】また、上記構成において、所定の波長を出力する第1及び第2のラマン増幅用励起光源は、それぞれ第1及び第2の光を発振する第1及び第2の半導体レーザと、第1及び第2の半導体レーザの前段に配置され、第1及び第2の波長の光に対して所定の割合で選択的に透過させ残余の光を反射させる第1及び第2のグレーティングファイバによって構成することができる。あるいは、第1及び第2の光をそれぞれ発振する第1及び第2の半導体レーザと、第1及び第2の半導体レーザの前段に配置され、第1及び第2の波長の光を選択的に透過させる第1及び第2の光フィルタとを備えた構成とすることもできる。

30 【0012】本発明の光増幅器におけるラマン増幅用波長合波手段は、より具体的には、光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され信号光を通過させるとともに第1及び第2の励起光を光ファイバにそれぞれ入射する第1及び第2のラマン増幅用励起光合波カプラにより構成することができる。あるいは、第1及び第2の励起光とを合波して合波励起光を出力するラマン増幅用励起光合波器と、光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され信号光を通過させるとともに合波励起光を光ファイバに入射するラマン増幅用励起光合波カプラとによっても構成することができる。さらに、ラマン増幅用波長合波手段としては、第1及び第2のラマン増幅用励起光源からそれぞれ出力される第1及び第2の励起光は互いに直交する偏光状態にあり、これら第1及び第2の励起光を偏波合成して合波励起光を出力するラマン増幅用励起光偏波合成カプラと、光ファイバ伝送路に接続された光ファイバに接続して配置され信号光を通過させるとともに合波励起光を光ファイバに入射するラマン増幅用励起光合波カプラとによっても構成することができる。

50 【0013】また、上記構成によって得られるラマン増幅作用による光増幅に対して、波長多重信号光に含まれる信号光の利得または光出力レベル自体の平坦度を向上させることを目的として、フィードバック制御する構成も採り得る。すなわち、上記構成に加えてさらに、波長多重信号光の一部を分岐して分岐波長多重信号光を出力する光分岐器と、分岐波長多重信号光に含まれる各信号光から互いに異なる波長の2の信号光を抽出する信号光抽出手段と、信号光抽出手段により抽出された2の信号

光の光出力レベルをそれぞれ検出する受光器と、2の光出力レベルの差分に基づいて第1のラマン増幅用励起光と第2のラマン増幅用励起光の光出力レベルまたは波長を制御する励起光出力制御回路とを備えるようにすることもできる。

【0014】上述した本発明の光増幅器は、ラマン増幅作用のみによる単独の光増幅機能をもつものであるが、希土類元素添加ファイバ（例えば、エルビウム添加ファイバ）を増幅媒体として光増幅を行う通常の光増幅機能と併用させることもできる。すなわち、上記光増幅器において、さらに、信号光を増幅する増幅媒体と、増幅媒体を励起状態にする第3の励起光を出力する第3の励起光源と、第3の励起光を増幅媒体に入射する波長合波カプラとを備えることによりラマン増幅による光増幅と通常の光増幅を併用していることを特徴としている。

【0015】このような構成における波長合波カプラを増幅媒体に対して信号光が入力される側に配置し、第3の励起光が信号光の伝播方向と同一の方向に入射されるようにしてもよいし、波長合波カプラを増幅媒体に対して信号光が出力される側に配置し、励起光が信号光の伝播方向と逆の方向に入射されるようにしてもよい。なお、ラマン増幅用波長合波手段の信号光が出力される側には、信号光と同一方向に伝播する光のみを選択的に透過させ逆方向に伝播する光を阻止する光アイソレータを配置することにより、反射戻り光、あるいは後段に配置された光増幅器からのラマン増幅用励起光による影響を低減しより安定化した光増幅を行うことができる。

【0016】なお、波長多重信号光に含まれる信号光の利得または光出力レベル自体の平坦度を向上させることを目的とするフィードバック制御の構成は、通常の光増幅と併用する構成においても適用することができる。すなわち、上記構成に加えてさらに、波長多重信号光の一部を分岐して分岐波長多重信号光を出力する光分岐器と、分岐波長多重信号光に含まれる各信号光から互いに異なる波長の2の信号光を抽出する信号光抽出手段と、信号光抽出手段により抽出された2の信号光の光出力レベルをそれぞれ検出する受光器と、2の光出力レベルの差分に基づいて第1のラマン増幅用励起光と第2のラマン増幅用励起光の光出力レベルまたは波長を制御する励起光出力制御回路とを備える。

【0017】光分岐器は、波長合波カプラに対して、波長多重信号光が入力される側に配置してもよいし、ラマン増幅用波長合波カプラに対して、波長多重信号光が出力される側に配置することもできる。前者の構成であれば光増幅器に入力される直前の波長多重信号光の平坦度を対象にフィードバック制御することになるが、後者の構成であれば、光増幅後の波長多重信号光を対象としてフィードバック制御することになる。

【0018】また、本発明の光増幅中継器は、上下回線の途中に配置され、各方向に進行する信号光に対して光

中継増幅するものであって、基本構成として上述した本発明の光増幅器が上下回線それぞれに対して配置される構成からなることを特徴としている。具体的には、下り信号光用光ファイバ伝送路中に配置された下り信号光増幅器と、上り信号光用光ファイバ伝送路中に配置された上り信号光増幅器とを備えた光増幅中継器であって、下り信号光増幅器及び上り信号光増幅器は、上記本発明の光増幅器を備えている。

【0019】上記構成において、上下回線それぞれについてラマン増幅用励起光源を2個ずつ備えてもよいが、より効率的な構成を図るため、下り信号光用光増幅器が備える第1のラマン増幅用励起光源と上り信号光用光増幅器が備える第1のラマン増幅用励起光源は共通の第1のラマン増幅用励起光源を用いることとし、また、下り信号光用光増幅器が備える第2のラマン増幅用励起光源と上り信号光用光増幅器が備える第2のラマン増幅用励起光源は共通の第2のラマン増幅用励起光源を用いることとし、共通の第1及び第2のラマン増幅用励起光源から出力される第1及び第2のラマン増幅用励起光を光分岐結合器により結合させるとともに分岐させて、下り信号光用光増幅器が備えるラマン増幅用波長合波カプラ及び上り信号光用光増幅器が備えるラマン増幅用波長合波カプラにそれぞれ出力するようにしてもよい。このような構成は、ラマン増幅単独に光増幅による場合であっても、通常の光増幅と併用した場合であっても採り得る。

【0020】通常の光増幅を併用した構成においても、下り信号光増幅器及び上り信号光増幅器がさらに増幅媒体を励起状態にする第4の励起光を出力する第4の励起光源をそれぞれ備えるようにし、下り信号光用光増幅器が備える第3の励起光源と上り信号光用光増幅器が備える第3の励起光源を共通の第3の励起光源とし、また下り信号光用光増幅器が備える第4の励起光源と上り信号光用光増幅器が備える第4の励起光源を共通の第4の励起光源とし、共通の第3の励起光源から出力される第3の励起光と共通の第4の励起光源から出力される第4の励起光とを光分岐結合器により結合させるとともに分岐させて、下り信号光用光増幅器が備える波長合波カプラ及び上り信号光用光増幅器が備える波長合波カプラにそれぞれ出力するようにしてもよい。

【0021】本発明の波長多重光伝送装置は、互いに異なる波長の複数の信号光を波長多重して波長多重信号光を送出する光送信端局と、波長多重信号光を伝播させる光ファイバ伝送路と、波長多重信号光を受信する光受信端局と、光ファイバ伝送路の途中に配置され、波長多重信号光を中継増幅する本発明の光増幅器とを備えていることを特徴としている。

【0022】上下回線を備え、双方向に波長多重信号光を光伝送させる波長多重光伝送装置についても同様に、互いに異なる波長の複数の下り信号光を波長多重して下り波長多重信号光を送出する下り信号光用光送信端局

と、下り波長多重信号光を伝播させる下り信号光用光ファイバ伝送路と、下り波長多重信号光を受信する下り信号光用光受信端局と、互いに異なる波長の複数の上り信号光を波長多重して上り波長多重信号光を送出する上り信号光用光送信端局と、上り波長多重信号光を伝播させる上り信号光用光ファイバ伝送路と、上り波長多重信号光を受信する上り信号光用光受信端局と、下り光ファイバ伝送路及び上り光ファイバ伝送路の途中に配置され、下り波長多重信号光及び上り波長多重信号光をそれぞれ中継増幅する本発明の光増幅中継器とを備えた構成により実現することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】次に、本発明の光増幅器の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0024】図1は、本発明の光増幅器の第1の実施の形態の構成を示す図であって、本発明の光増幅器の基本構成を示している。すなわち、本発明の光増幅器は、光ファイバ伝送路1を伝播する信号光に対してラマン増幅させる波長を有する励起光を出力する2つの励起光源4、5を備えている。そして、各励起光源4、5からの出力される励起光は、光ファイバ伝送路1の出力端またはその途中に配置された波長合波カプラ2、3によって信号光（波長多重信号光）が伝播する方向（図中実線の矢印によって示される方向）とは逆向き（図中破線の矢印によって示される方向）に入射される。本発明の光増幅器では、上記2つの励起光源からそれぞれ出力される励起光によって信号光はラマン増幅されることになる。

【0025】ここで、本発明の光増幅器によるラマン増幅における利得の波長依存性による影響の軽減、すなわち光出力レベルの平坦化の原理、作用について説明する。本発明においては、まず下記の知見によることを前提としている。すなわち、ラマン増幅は利得に波長依存性を有しており、励起光の波長から所定の波長（概ね100～120nm）だけ長い波長に利得のピークを生じ、それよりも長くなる、あるいは短くなるに従って、利得は徐々に減少するという特性を有している。なお、この点については、実験等により確認をされており、波長とラマン増幅による利得との関係を模式的に示したのが図2である。

【0026】いま励起光の波長より概ね80nmから110nm長い波長において利得のピークが生じるものとする、波長が $\lambda_0 - 90$ nmである励起光によりラマン増幅を行うとその利得は図2に示されるように、波長 λ_0 においてピークを示し、それから外れるに従って徐々に低下する特性を有することとなる。そうすると、波長多重信号光に含まれる信号光の波長領域のほぼ中心となる波長（以下「中心波長」という。）よりも概ね90nm短い波長を有する励起光によってラマン増幅することにより最も高い利得を得ることができる。しかしなが

ら、このようなラマン増幅を行うと、波長多重信号光に含まれる信号光数が多く（例えば、32波）、上記波長領域が広い場合には、利得がピークとなる中心付近にある信号光と波長領域の端にある信号光では利得に大きな偏差が生じてしまうことになる。

【0027】そこで、本発明の光増幅器では、ラマン増幅の利得がピークとなる波長が波長多重信号光の中心波長よりも短くなるように設定された第1の波長を有する第1の励起光と、これとは逆に長くなるように設定された第2の波長を有する第2の励起光との2つの励起光によりラマン増幅を生じさせることを特徴としている。図2を参照して説明すると、第1の励起光によれば波長多重信号光は波長領域A2が示す利得特性をもってラマン増幅されることになる。一方、第2の励起光によれば波長領域A1が示す利得特性をもってラマン増幅されることになる。すなわち、第1及び第2の励起光の個々の励起光により利得が特定方向（右肩下がりと左肩下がり）に傾斜をもつようにラマン増幅させる。そうして両励起光によりそれぞれラマン増幅された結果、平坦になるようにしている。

【0028】図3は、本発明の光増幅器によりラマン増幅された波長多重信号光の波長と光出力レベルとの関係を示す図である。（a）はラマン増幅される前の信号光の波長と光出力レベルを示しており、光増幅器がラマン増幅させる機能を備えていないとすれば波長多重信号光に含まれる各信号光は光出力レベルが平坦化されているものとする。（b）及び（c）はそれぞれ単独のラマン増幅を受けた場合の信号光の波長に対する各信号光の光出力レベルを示しており、（b）は励起光が短く設定されているために右肩下がりの特性を、（c）はその逆の特性を有していることがわかる。（d）は（b）と

（c）の各特性が重畳され、最終的な信号光の波長と光出力レベルの関係を示しており、光出力レベルの偏差が解消され平坦化されることを示している。

【0029】次に、本発明の光増幅器の変形例について説明する。

【0030】本発明の光増幅器の第1の実施の形態の構成を示す図であって、図1に示される構成の変形例を示している。

【0031】本発明の光増幅器は、ラマン増幅を行うために2つの励起光を光ファイバ伝送路に入射させるものであるが、2つの励起光を入射させる構成については、図1に示される第1の実施の形態に限られるものではない。すなわち、光ファイバ伝送路1の途中に波長合波カプラ2、3を配置する代わりに、図4に示されるように、あらかじめ波長合波カプラ（光合波器）2により合波しておき、この合波された2つの励起光を光ファイバ伝送路1の途中に配置された波長合波カプラ3によって光ファイバ伝送路1に入射するようにしてもよい。この構成の方が光ファイバ伝送路1中に配置される波長合波

カプラが少ない分、信号光の損失が低減されるという特長がある。

【0032】また、光合波器2に代えて、励起光源4、5から出力される励起光の偏波を互いに直交する状態にしておき、両励起光を偏光合波カプラにより合波することもできる。特に、両励起光の波長が近接しており、光合波器による合波が困難な場合に適している。なお、上記実施の形態では、図1に示されるように信号光に対して逆方向に励起光を入射しているが、順方向すなわち後段に向けて入射しても同様の効果を得ることができる。

【0033】次に、上述したような2つの励起光によるラマン増幅を行うに際しては、単一モードで所定の波長で励起光が出力されることが必要になるが、このような励起光源を実現する構成について説明する。

【0034】図5及び図6は、本発明の光増幅器において行われるラマン増幅のための励起光源の構成の一例を示す図である。図4に示される構成は、励起光を発振させる半導体レーザ12とその前方に配置された波長選択型光反射器（例えば、ファイバグレーティング）13による構成を示している。ここで、ファイバグレーティング13は、上述した所定の波長に対して数%から10%程度の所定の割合で光を選択的に反射する特性を有している。このような構成により、所定の波長のみが発振状態になり、安定した波長の励起光が得られる。

【0035】また、図6は、ファイバグレーティング13に代えて所定の波長の光のみを選択的に透過させるバンドパス光フィルタ14が配置された例である。この構成によれば、所定の波長のみの光のみが励起光として励起光源から出力されることになる。なお、いずれの構成によっても、励起光源から出力される励起光の波長を可変制御することができる。例えば、図5に示されるグレーティングファイバを用いた構成では、グレーティングの周期を変化させることにより、また図6に示される光フィルタを用いた構成では誘電体多層膜への入射角度を変化させることにより変化させることができる。

【0036】次に、本発明の光増幅器において、ラマン増幅による光増幅と通常的光増幅とを併用した構成について説明する。すなわち、上述した本発明の光増幅器は、ラマン増幅作用単独による光増幅を示したものであるが、通常的光増幅と併用することもできる。

【0037】図7は、本発明の光増幅器の第2の実施の形態の構成を示す図である。基本構成は、図4に示される構成と同じであるが、波長合波カプラ3の前段に希土類元素添加ファイバ（ここでは、信号光の波長を1550nmとし、エルビウム添加ファイバ（EDF）が用いられている。）と、この増幅媒体を励起状態にする励起光を出力する励起光源7と、EDF6の前段に配置され励起光を信号光と同じ向きでEDF6に入射する光合波器8とを備えている。また、ここでは、増幅されて出力される波長多重信号光の光ファイバ伝送路1からの反射

戻り光及び後段に配置された光増幅器から送出されたラマン増幅用励起光（図中右側からの光）がEDF6に入射されるのを防ぐために光アイソレータ10が配置されている。なお、光合波器8はEDF6の前段でなく出力側に配置し、後方励起としてもよいが、ラマン増幅に対する影響を少なくするためには、図7に示されるように前方励起型の方が好ましい。

【0038】本実施の形態によれば、ラマン増幅による光増幅と通常的光増幅との併用によりより高い利得を得ることができる。特に、図7に示されるように、EDF6の後段にラマン増幅用の励起光源が4、5が配置される構成では、これらの励起光源から出力される励起光によってまずEDF6が励起され、EDF6を通過した残存する励起光によってラマン増幅作用が生じるので、効率のよい光増幅がなされる。ラマン増幅用励起光源4、5及び通常的光増幅用励起光源7の配置形態によらず、いずれの形態においてもEDF6に入力される波長多重信号光は、すでに光ファイバ伝送路1においてラマン増幅により光増幅されているが、光出力レベルの平坦度が維持されているので通常的光増幅がなされた場合にもレベル差が増大することはない。

【0039】上述したように、波長多重信号光の中心波長が1550nmであることを想定すると、励起光の波長より90nm遅い波長においてラマン増幅による利得のピークがある場合には、1460nmの波長によりラマン増幅を行わせた場合に、その利得は信号光の中心波長と同じ波長1550nmにおいてピークとなる。従って、本実施の形態では励起光の波長は、1460nmより短い概ね1450nmと長い1470nmの波長に設定されている。通常的光増幅を行うための励起光源7から出力される励起光の波長は1480nm又は980nmであればよい。なお、ラマン増幅用の励起光の波長は1480nmに近ければ、EDF6を通過する際に通常的光増幅作用にも寄与することとなる。

【0040】次に、本発明の光増幅器の第3の実施の形態について説明する。

【0041】図8は、本発明の光増幅器の第3の実施の形態の構成を示す図である。本実施の形態の特徴は、ラマン増幅による光増幅がなされた波長多重信号光に対して、各信号光の光出力レベルの平坦度を検出してラマン増幅作用にフィードバック制御する点にある。

【0042】図8に示されるように、基本構成は図4に示される第1の実施の形態の変形例の構成と同じであるが、波長合波カプラ3の前段に配置された光分岐器15により、すでにラマン増幅された波長多重信号光の一部が分岐される。分岐された波長多重信号光は、さらにその中から互いに波長が異なる2つの信号光が抽出され、受光器19、20により各々電気信号に変換されて光出力レベルが検出される。

【0043】両信号光の光出力レベルは励起光出力制御

回路 21 に入力され差分が算出され、この差分、すなわち平坦度（波長に対する利得の傾斜）に基づいて励起光源 4、5 が制御される。この制御は、各々の励起光によるラマン増幅の際の利得の平坦度を調整するものであるから、励起光出力自体、あるいは波長を調整することによってなされる。励起光出力自体は半導体レーザへの注入電流によって、また波長が可変制御できることはすでに説明した通りである。

【0044】なお、ここでは、波長多重信号光に含まれる信号光のうち任意の 2 つの信号光を抽出することとしているが、平坦度をより正確に算出する観点からはなるべく離れた波長の信号光を抽出するのがよい。また、本実施の形態では、分岐された波長多重信号光を光分岐器 16 によってさらに 2 分岐し、抽出すべき波長の光のみを選択的に透過させる光フィルタ 17、18 により信号光の抽出を行っているが、波長可変光フィルタを用いて挿引することによってもできる。

【0045】図 9 及び図 10 は、本発明の光増幅器の第 4 及び第 5 の実施の形態の構成をそれぞれ示している。本実施の形態も基本的には図 8 に示される第 3 の実施の形態と同様、ラマン増幅による光増幅がなされた波長多重信号光に対してフィードバック制御機能を備えたものである。但し、本実施の形態では、図 7 に示される第 2 の実施の形態と同様、通常的光増幅と併用している構成において、フィードバック制御機能を備えたものである。図 9 に示される第 4 の実施の形態では、ラマン増幅のみにより光増幅された波長多重信号光の平坦度を検出してフィードバック制御しているのに対して、図 10 に示される第 5 の実施の形態ではラマン増幅により光増幅され、さらに通常的光増幅を受けた波長多重信号光に対してフィードバック制御している点で相違している。

【0046】次に、上下回線の途中に配置され、沿う方の信号光に対して光中継増幅する機能を備えた光増幅中継器に関する本発明の実施の形態について説明する。

【0047】図 11 は、本発明の光増幅中継器の第 1 の実施の形態の構成を示している。上下回線を伝播する双方の信号光をラマン増幅により光増幅する構成として、まず単純に本発明の光増幅器を下り回線と上り回線の双方に対して備えるという構成が考えられる。ここでは、さらに効率のよい構成をなすために、図 11 に示されるように、ラマン増幅用に用いられる 2 個の励起光源 4、5 を上下回線で共用している点に特徴がある。励起光源 4、5 それぞれから出力された励起光 λ_1 、 λ_2 は一旦光分岐結合器 9 において結合され、そのまま 2 分岐されて下り回線及び上り回線用に配置された波長合波カプラ 3 a、3 b にそれぞれ出力され、ここから光ファイバ伝送路 1 に送出される（図中の破線参照）。なお、本発明で用いられている光分岐結合器、光合波器、光分波器、波長合波カプラ等は誘電体多層膜フィルタを用いたものや融着型カプラ等を適用することができる。

【0048】図 12 及び図 13 は、本発明の光増幅中継器の第 2 及び第 3 の実施の形態の構成をそれぞれ示している。本実施の形態では、図 7 に示される本発明の光増幅器についての第 2 の実施の形態と同様、通常的光増幅と併用したものである。図 12 に示される第 2 の実施の形態では、通常的光増幅をするための励起光源 7 a、7 b が下り回線／上り回線で別々に設けられている。これに対して、図 13 に示される第 3 の実施の形態では、励起光源をそれぞれ共用し、図 11 に示される本発明の光増幅中継器の第 1 の実施の形態において説明した光分岐結合器 9 と同様の機能を果たす光分岐結合器 11 により結合され、分岐されることを特徴としている。これにより、励起光源に冗長性を持たせることも可能であり、より信頼性の高い光増幅中継器を構成することが出来る。なお、通常的光増幅を行うための励起光については、図中一転鎖線によりその経路が示されている。

【0049】次に、本発明の光増幅器又は光増幅中継器を用いた波長多重光伝送装置について説明する。

【0050】図 14 は、本発明の波長多重光伝送装置の第 1 の実施の形態の構成を示しており、一方向の光伝送を行う光伝送装置を行うものである。また、図 15 は、本発明の波長多重光伝送装置の第 2 の実施の形態の構成を示しており、双方向光伝送を行うものである。

【0051】図 14 を参照すると、本実施の形態の波長多重光伝送装置は、互いに異なる波長の複数の信号光を波長多重して波長多重信号光を送出する光送信端局 22 と、波長多重信号光を伝播させる光ファイバ伝送路 29（29 a、29 b、29 c）と、波長多重信号光を受信する光受信端局 23 と、光ファイバ伝送路の途中に配置され波長多重信号光を中継増幅する光増幅器 24 とを備えている。光増幅器 24 は、すでに説明した本発明の光増幅器のいずれの実施の形態のものも適用し得る。

【0052】なお、光送信端局 22 は、例えば図 14 に示されているように、各波長（チャンネル）の信号光を送出する光送信器 25 とこれらの信号光を波長多重して光ファイバ伝送路 29 a に送出する光合波器 26 により構成することができる。一方、光受信端局は 23、光ファイバ伝送路 29 c から送出される波長多重信号光を分波する光分波器 27 と、分波された各信号光をそれぞれ受信する光受信器 28 を備えている。

【0053】本実施の形態では、一例として光ファイバ伝送路 29 中には 2 個の光増幅器 24 a、24 b が配置されているが、光増幅器 24 a は光ファイバ伝送路 29 a に向けてラマン増幅用励起光が送出されここで波長多重信号光はラマン増幅による光増幅がなされて光増幅器 24 a に入力される。光増幅器 24 b については、同様に光ファイバ伝送路 29 b においてラマン増幅がなされるように励起光が送出される。

【0054】図 15 に示される本発明の波長多重光伝送装置の第 2 の実施の形態は、上下回線を備え、双方向

に波長多重信号光を光伝送させる波長多重光伝送装置である。これについても同様に、互いに異なる波長の複数の下り信号光を波長多重して下り波長多重信号光を送出する下り信号光用光送信端局 22a と、下り波長多重信号光を伝播させる下り信号光用光ファイバ伝送路 29 と、下り波長多重信号光を受信する下り信号光用光受信端局 23a と、互いに異なる波長の複数の上り信号光を波長多重して上り波長多重信号光を送出する上り信号光用光送信端局 22b と、上り波長多重信号光を伝播させる上り信号光用光ファイバ伝送路 30 と、上り波長多重信号光を受信する上り信号光用光受信端局 23b と、下り光ファイバ伝送路及び上り光ファイバ伝送路の途中に配置され、下り波長多重信号光及び上り波長多重信号光をそれぞれ中継増幅する本発明の光増幅中継器 24 とを備えている。光増幅中継器 24 については、本発明の光増幅中継器のいずれの実施の形態のものを適用しても四位。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅器は、第 1 及び第 2 の励起光を出力する第 1 及び第 2 の 2 つのラマン増幅用励起光源と、波長多重信号光が伝播する光ファイバ伝送路に信号光の伝播とは逆方向に第 1 及び第 2 の励起光を入射するラマン増幅用波長合波手段とを備え、両励起光によって信号光をラマン増幅させる。この際、第 1 の励起光の波長は、ラマン増幅により光増幅される信号光の利得が右肩下がりになり、一方、第 2 の励起光の波長は右肩上がりになるように設定している。

【0056】従って、単独の励起光によりラマン増幅させた場合に比べ、より平坦度の高い特性を得ることができる。そして、ラマン増幅作用を利用した光増幅において波長多重信号光を光増幅させたときにも、利得（光出力レベル）の平坦度を維持し、光増幅器に入力される波長多重信号光の波長特性がラマン増幅により変化しない、または常に一定の波長特性を有する状態に制御することができるようになる。なお、ラマン増幅の波長特性は励起光の波長に依存しているが、波長選択型反射器により励起光の波長を固定することにより、より安定したラマン増幅による光増幅が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の光増幅器の第 1 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 2】本発明の光増幅器の基本原理を説明するための図であって、ラマン増幅における波長と利得との関係を示す図である。

【図 3】本発明の光増幅器の基本原理を説明するための図で、ラマン増幅における波長多重信号光の波長と光出力レベルとの関係を示す図であって、(a) はラマン増幅される前の信号光の波長と光出力レベル、(b) 及び (c) はそれぞれ単独のラマン増幅を受けた場合の信号

光の波長と光出力レベル、(d) は最終的な信号光の波長と光出力レベルとの関係を示している。

【図 4】本発明の光増幅器の第 1 の実施の形態の構成を示す図であって、図 1 に示される構成の変形例を示している。

【図 5】本発明の光増幅器において行われるラマン増幅のための励起光源の構成の一例を示す図である。

【図 6】本発明の光増幅器において行われるラマン増幅のための励起光源の構成の他の例を示す図である。

10 【図 7】本発明の光増幅器の第 2 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 8】本発明の光増幅器の第 3 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 9】本発明の光増幅器の第 4 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 10】本発明の光増幅器の第 5 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 11】本発明の光増幅中継器の第 1 の実施の形態の構成を示す図である。

20 【図 12】本発明の光増幅中継器の第 2 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 13】本発明の光増幅中継器の第 3 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 14】本発明の波長多重光伝送装置の第 1 の実施の形態の構成を示す図である。

【図 15】本発明の波長多重光伝送装置の第 2 の実施の形態の構成を示す図である。

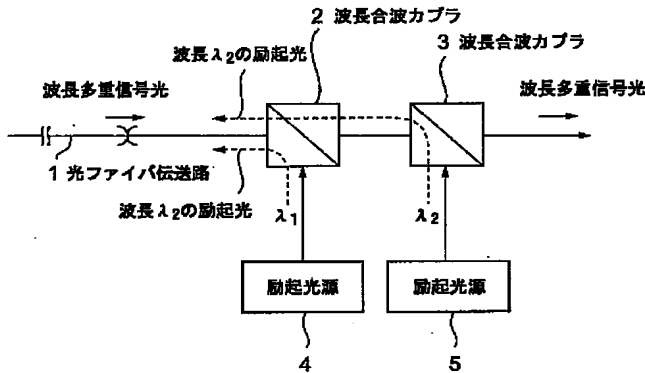
【符号の説明】

- | | |
|--------------|--------------------------|
| 1 | 光ファイバ伝送路 |
| 2 | 波長合波カプラ（光合波器） |
| 3, 3a, 3b | 波長合波カプラ |
| 4 | ラマン増幅用励起光源 |
| 5 | ラマン増幅用励起光源 |
| 6, 6a, 6b | 希土類元素（エルビウム）添加光ファイバ（EDF） |
| 7, 7a, 7b | 励起光源 |
| 8, 8a, 8b | 光合波器 |
| 9 | 光分岐結合器（光カプラ） |
| 10, 10a, 10b | 光アイソレータ |
| 40 11 | 光分岐結合器（光カプラ） |
| 12 | 励起光用半導体レーザ |
| 13 | グレーティングファイバ |
| 14 | 狭帯域光フィルタ |
| 15 | 光分岐器 |
| 16 | 光分岐器 |
| 17 | 光フィルタ |
| 18 | 光フィルタ |
| 19 | 受光器 |
| 20 | 受光器 |
| 50 21 | 励起光出力制御回路 |

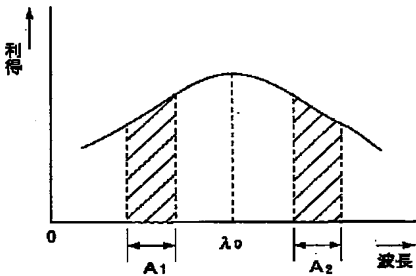
- 19
- 22, 22 a, 22 b
- 23, 23 a, 23 b
- 24, 24 a, 24 b
- 25
- 26
- 光送信端局
- 光受信端局
- 光増幅中継器 (光増幅器)
- 光送信器
- 光合波器

- 20
- 27
- 28
- 29, 29 a, 29 b, 29 c
- 30, 30 a, 30 b, 30 c
- 光分波器
- 光受信器
- 光ファイバ伝送路
- 光ファイバ伝送路

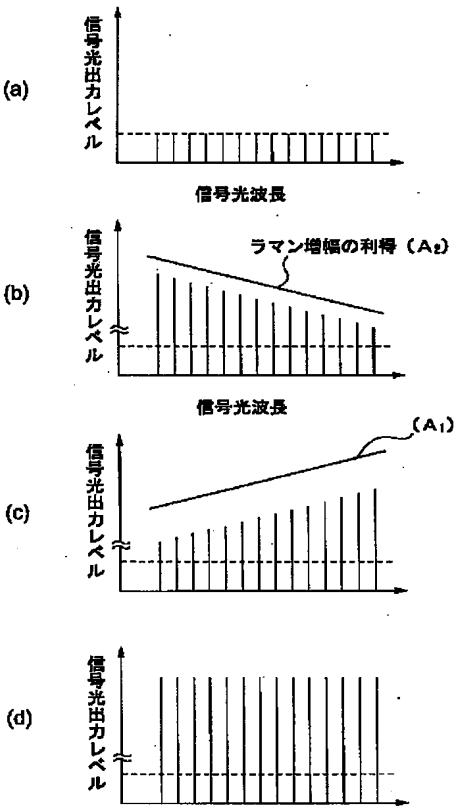
【図 1】



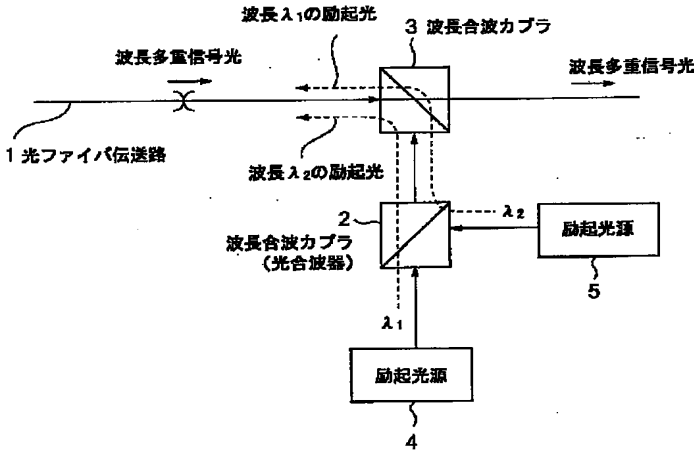
【図 2】



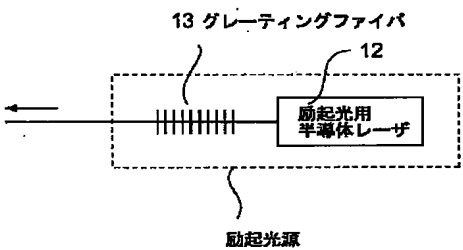
【図 3】



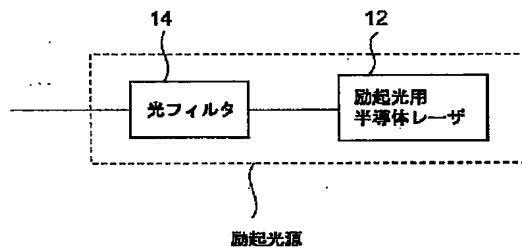
【図 4】



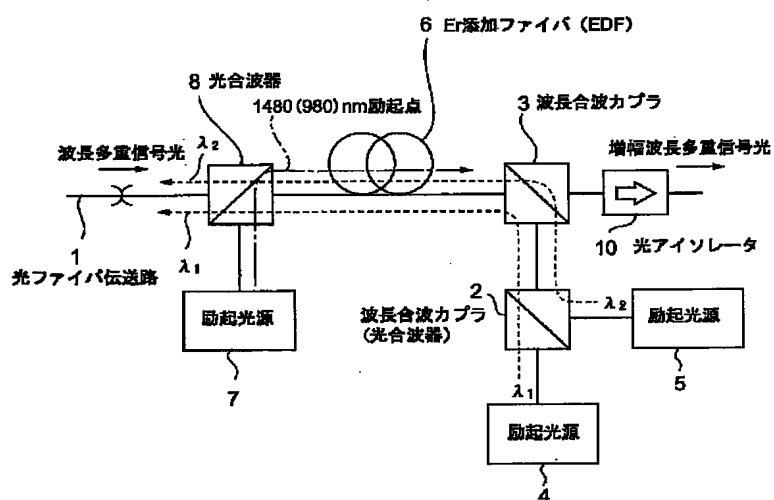
【図 5】



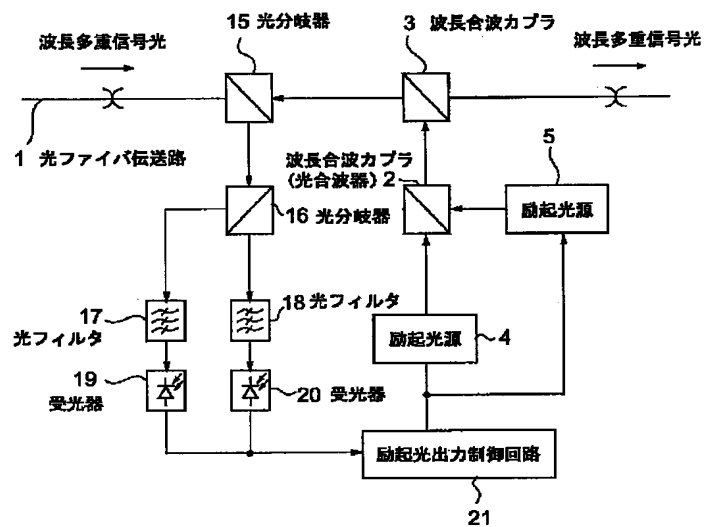
【図 6】



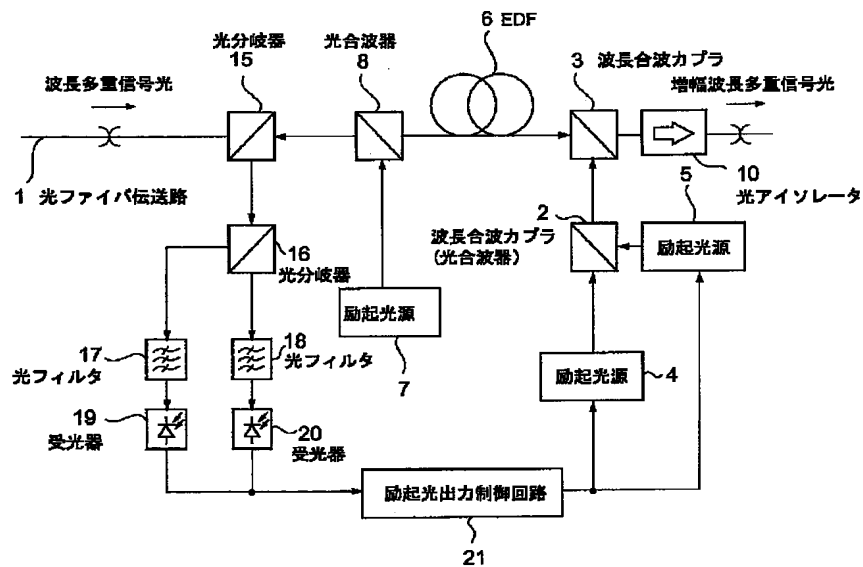
【図 7】



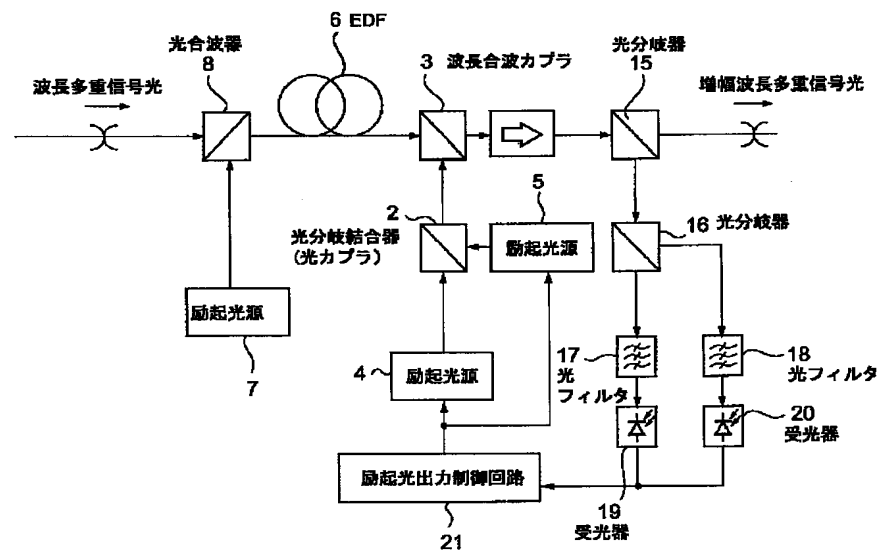
【図 8】



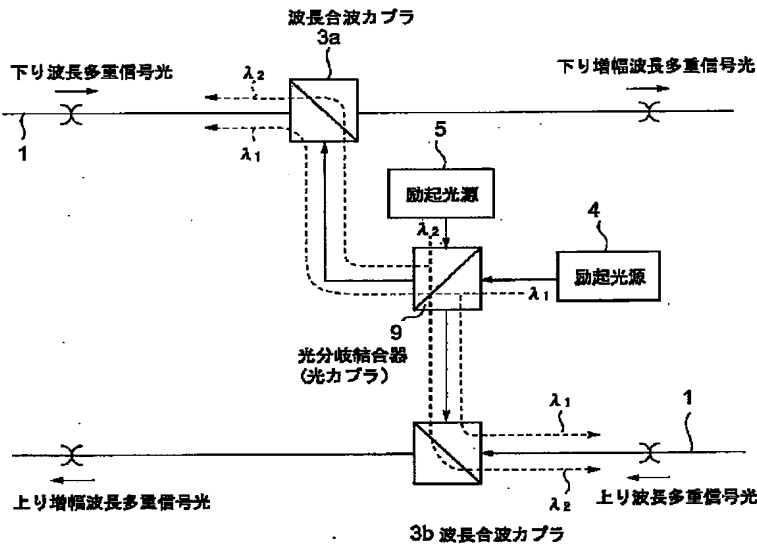
【図 9】



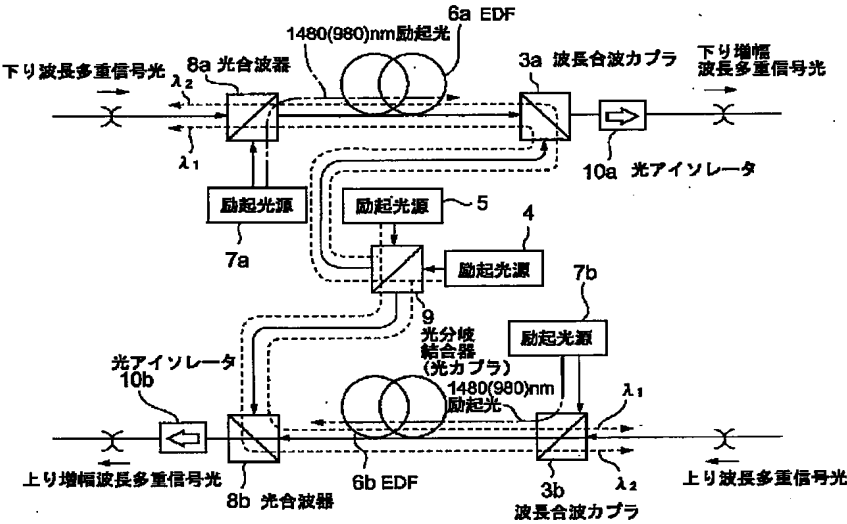
【図 1 0】



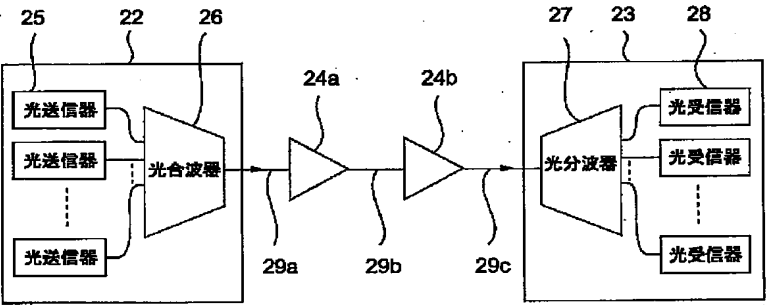
【図 1 1】



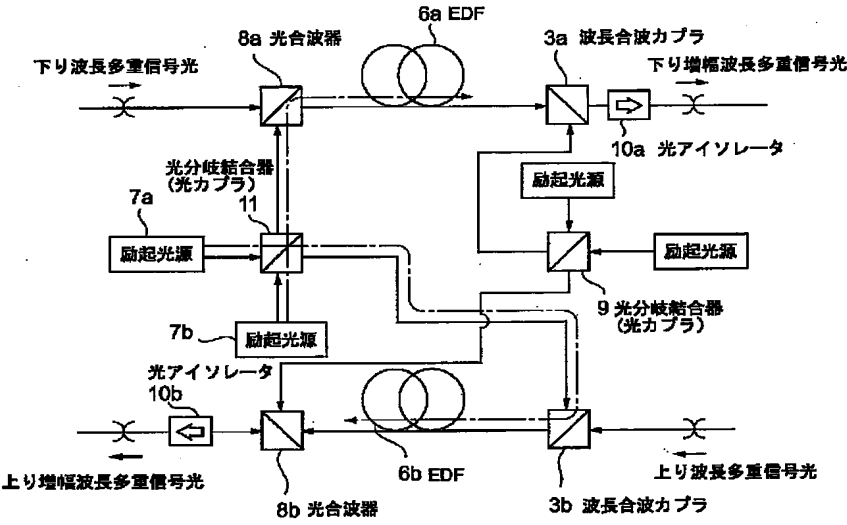
【図 1 2】



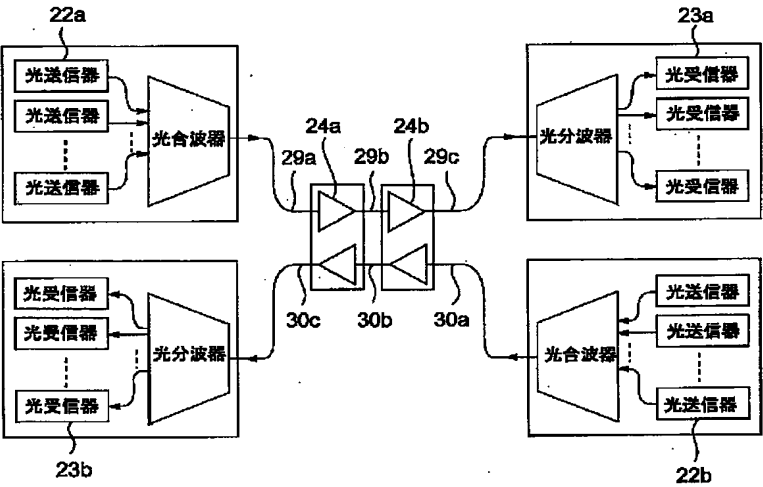
【図 1 4】



【図 1 3】



【図 1 5】



フロントページの続き